Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 22, No. 4, Winter 2025, p. 441-456

The Effect of Chemical and Biological Fertilizers on Yield, Yield Components and Protein Content of Sesame Grain (*Sesamum* indicum L.) under Different Irrigation Regimes

M. Moradi Shahdadi[1], M. Dejam[2*], M. Madandoust[3], M. R. Baziar[2]

1- Ph.D. Student, Islamic Azad University, Fasa Branch, Fasa, Iran
2- Assistant Professor, Department of Agriculture, Islamic Azad University, Fasa Branch, Fasa, Iran
3- Assosiate Professor, Department of Agriculture, Islamic Azad University, Fasa Branch, Fasa, Iran
(*- Corresponding Author Email: Mahmood.dejam51@iau.ac.ir)

Received: 06 April 2024 Revised: 15 June 2024 Accepted: 09 July 2024 Available Online: 10 December 2024	**How to cite this article:** Moradi Shahdadi, M., Dejam, M., Madandoust, M., & Baziar, M. R. (2025). The Effect of Chemical and Biological Fertilizers on Yield, Yield Components and Protein Content of Sesame Grain (*Sesamum* indicum L.) under Different Irrigation Regimes. *Iranian Journal of Field Crops Research, 22*(4), 441-456. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.87509.1317

Introduction

The production of oil, especially organic oil, from oilseed plants is important, so that oilseed plants occupy the second food reserves in the world after cereals. Sesame is an industrial plant that can be cultivated in arid and semi-arid regions, however, its growth and yield are limited by drought stress. Drought stress is considered as one of the most important factors limiting the performance of plants. Therefore, proper and principled management of agricultural inputs, including fertilizers, can partially reduce the negative effect of drought stress. This study aimed to examine the effects of chemical fertilizers, biofertilizers, and humic acid—applied individually and in combination—on the yield, yield components, and protein content of sesame grain under different irrigation regimes.

Materials and Methods

This research was carried out in the form of a split plot experiment based on the complete blocks design with three replications during the 2022 and 2023 at a research farm in Hormozgan province. The experimental treatments included irrigation regimes at three levels (irrigation after 40, 60 and 80% moisture discharge as main plots and fertilizer treatments at seven levels (control (F1), 100% need plant to phosphorus chemical fertilizer (F2), plant inoculation with arbuscular mycorrhizal fungus (F3), humic acid (F4), 50% chemical fertilizer+mycorrhiza (F5), 50% chemical fertilizer+humic acid (F6) and 50% chemical fertilizer+Mycorrhiza+humic acid (F7) was in sub-plots. In this experiment, agronomic characteristics, yield, yield components and grain protein of sesame were investigated.

Results and Discussion

The results showed that irrigation regimes and fertilizer treatments showed a significant effect on the studied characteristics of sesame. Irrigation at 80% moisture reduced the plant height, the number of sub-branches, the number of leaves, the number of capsules, the weight of 1000 grain, the biological yield, the grain yield and the harvest index by nearly 35, 50, 37, 48, 42, 52, 61 and 13% respectively compared to irrigation at 40%. Therefore, increasing the plant's access to water improved cell growth and division by increasing cell mass. It

https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.87509.1317

has been reported that there is a direct relationship between the increase of drought stress and the decrease of each of the growth characteristics of the plant, so that drought stress can cause damage to the growth characteristics and plant yield components, depending on the growth stage, which will reduce economic yield. On the contrary, irrigation after 80% treatment led to an increase in nitrogen and grain protein concentration compared to irrigation after 40%. In addition, among the fertilizer treatments, the F7 treatment resulted in an increase in growth characteristics, yield components, yield and nitrogen content of sesame grain. In this research, the individual application of mycorrhiza and humic acid could have more favorable growth characteristics than the application of 100% phosphorus chemical fertilizer or its non-application. Different mechanisms have been described for the effect of mycorrhizae on the growth characteristics of plants, such as increasing the absorption of nutrients, nitrogen, phosphorus, and low-use elements. Because in a mycorrhizal plant compared to a non-mycorrhizal plant, the creation of a wide hyphal network of fungi between the soil and the root provides a large surface for the absorption of nutrients. Humic acid is also able to improve the vegetative characteristics of plants by increasing the photosynthetic capacity, leaf water content and the metabolism of antioxidant compounds.

Conclusion

Increasing water availability, along with the combined application of reduced amounts of chemical fertilizers, mycorrhiza, and humic acid, resulted in improved quantitative and qualitative yield of sesame. The enhanced performance of the combined treatments compared to other fertilizer treatments can be attributed to the lack of organic matter in the region's soil. The best results were observed with the integrated treatment of mycorrhiza, humic acid, and chemical fertilizers, as it provided the plant with the most access to essential nutrients.

Keywords: Drought stress, Growth characteristics, Harvest index, Mycorrhizal fungi, Protein yield

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۲۲، شماره ٤، زمستان ۱٤۰۳، ص ٤٥٦-٤٤١

تأثیر کودهای شیمیایی و آلی بر عملکرد، اجزای عملکرد و پروتئین دانه کنجد (*Sesamum indicum* L.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

محمود مرادی شهدادی[1]، محمود دژم[2]*، مهدی مدندوست[3]، محمدرضا بازیار[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۹

چکیده

کنجد یکی از قدیمی‌ترین گیاهان مورد کشت می‌باشد که به‌دلیل عملکرد کمّی و کیفی روغن و همچنین، مقاومت در برابر خشکی در بسیاری از کشورهای کم‌باران دارای اهمیت است، با این وجود، مقاومت کنجد به خشکی به‌معنی عدم فراهم‌سازی کمترین نیاز گیاه به آب نمی‌باشد. ازاین‌رو، به‌منظور بررسی اثر کود شیمیایی، زیستی و اسید هیومیک بر عملکرد و میزان پروتئین دانه کنجد در رژیم‌های آبیاری، آزمایشی به‌صورت کرت خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار، طی سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ در استان هرمزگان اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل رژیم‌های آبیاری (آبیاری پس از ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی) در کرت‌های اصلی و تیمارهای کودی، شاهد (F_1)، ۱۰۰ درصد کود شیمیایی فسفر (F_2)، مایکوریزای آربوسکولار (F_3)، اسید هیومیک (F_4)، ۵۰ درصد کود فسفر + مایکوریزا (F_5)، ۵۰ درصد کود فسفر + اسید هیومیک (F_6) و ۵۰ درصد کود فسفر + مایکوریزا + اسید هیومیک (F_7)، در کرت‌های فرعی بودند. نتایج نشان داد که رژیم‌های آبیاری و تیمارهای کودی اثر بسیار معنی‌دار، بر ویژگی‌های زراعی، عملکرد و اجزای عملکرد کنجد داشت. تیمار آبیاری پس از ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، برگ و کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد زیستی و دانه و شاخص برداشت را به‌ترتیب ۳۵، ۵۰، ۳۷، ۴۸، ۴۲، ۵۲، ۶۱ و ۱۳ درصد نسبت به آبیاری پس از ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی کاهش داد. این در حالی بود که در تیمار آبیاری پس از ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی، افزایش نیتروژن و پروتئین دانه در مقایسه با آبیاری پس از ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی مشاهده شد. در بین تیمارهای کودی نیز تیمار F_7، افزایش ویژگی‌های رویشی، عملکرد و محتوی نیتروژن دانه را به دنبال داشت. در مجموع، افزایش دسترسی به آب هم‌گام با کاربرد تلفیقی کودها بهبود ویژگی‌های رویشی، عملکرد و اجزای عملکرد کنجد را به دنبال داشت.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، شاخص برداشت، عملکرد پروتئین، قارچ مایکوریزا، ویژگی‌های رشدی

مقدمه

تولید روغن به‌ویژه روغن ارگانیک از گیاهان دانه روغنی اهمیت بسیاری دارد، به‌طوری‌که گیاهان دانه روغنی پس از غلات، دومین ذخایر غذایی جهان را به خود اختصاص می‌دهند. کنجد، گیاهی سازگار با نواحی خشک و نیمه‌خشک دنیا بوده که تحمل به خشکی، کمیت و کیفیت مطلوب روغن و برخورداری از پروتئین و آنتی‌اکسیدان‌ها از ویژگی‌های منحصربه‌فرد آن می‌باشد. این گیاه بومی ایران بوده و به‌دلیل ویژگی‌های بیان‌شده و همچنین، امکان کشت دوم پس از گندم، مورد توجه کشاورزان قرار دارد (Nezami, Fazeli Kakhaki, Zarghani, Shabahang, & Gandomzadehl, 2014). امروزه، کاهش دسترسی به منابع آبی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده عملکرد گیاهان مطرح می‌باشد. خشکی افزون‌بر کاهش عملکرد منجر به تشدید سایر تنش‌ها و به‌ویژه اختلال در جذب و تجمع مواد غذایی می‌شود. ازاین‌رو، مدیریت مطلوب و اصولی نهاده‌های کشاورزی از جمله کودها، می‌تواند تا حدی اثر منفی خشکی را کاهش دهد. از سوی دیگر، در سال‌های گذشته، استفاده از کودهای شیمیایی منجر به مشکلات زیست‌محیطی شدیدی شده است. در نتیجه، جهت کاهش این

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد فسا، فسا، ایران
۲- استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد فسا، فسا، ایران
۳- دانشیار، گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد فسا، فسا، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: Mahmood.dejam51@iau.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.87509.1317

مشکلات و مدیریت حاصلخیزی خاک، بایستی به سمت شیوه‌های کشاورزی پایدار حرکت کرد. یکی از شیوه‌های کاربردی در جهت افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی، کاربرد کودهای زیستی می‌باشد. کودهای زیستی منجر به افزایش دسترسی گیاه به آب و مواد غذایی و همچنین، افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی و بهبود ساختمان خاک می‌شوند (Nadarajah & Abdul Rahman, 2023).

ریزجانداران حل‌کننده فسفات که به‌طور عمده شامل باکتری‌ها و قارچ‌ها می‌باشند، با تولید اسیدهای آلی، حلالیت فسفات معدنی کم محلول را افزایش می‌دهند. افزون‌براین، بسیاری از ریزجانداران با تولید آنزیم‌های فسفاتاز، عنصر فسفر را از ترکیب‌های آلی آزاد ساخته و در اختیار گیاه قرار می‌دهند (Jerbi *et al.*, 2022). همزیستی با قارچ‌های مایکوریزا به‌دلیل بهبود روابط آبی گیاه میزبان یکی از راهکارهایی است که مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است و قارچ *گلوموس* به‌علت همزیستی با ریشه اغلب گیاهان زراعی و افزایش جذب عناصری از قبیل فسفر و برخی عناصر کم‌مصرف منجر به کاهش اثر منفی تنش‌های محیطی و افزایش مقاومت به عوامل بیماری‌زا در کشاورزی پایدار می‌شود (Rezaei-Chiyaneh, Khorramdel, Movludi, & Rahimi, 2017). کاربرد مواد زیستی و مواد تنظیم‌کننده رشد نیز در شرایط تنش‌های محیطی، مورد توجه می‌باشد. اسید هیومیک به‌دلیل اثر بر فرآیندهای ریخت‌شناختی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی، یکی از این قبیل ترکیب‌های می‌باشد. اسید هیومیک یک پلیمر طبیعی است که نتیجه نهایی عمل هومیفیکاسیون بوده و در اثر انجام فرآیند شیمیایی و باکتریایی در خاک تشکیل می‌شود و دارای موضع‌های مربوط به عامل‌های اسیدی کربوکسیل بنزوئیک و فنلی (مکان‌های تبادل کاتیونی) می‌باشد (Lasheen *et al.*, 2023).

مطابق با پژوهش سیدشریفی و سیدشریفی (Seyed Sharifi, & Seyed sharifi, 2019) بیشترین عملکرد دانه آفتابگردان[1] در کاربرد همزمان کودهای زیستی و آبیاری کامل به‌دست آمد و کمترین آن به قطع آبیاری در ۵۰ درصد مراحل گل‌دهی و بدون کاربرد کودهای زیستی تعلق داشت، به‌طوری‌که در شرایط قطع آبیاری در ۵۰ درصد گل‌دهی و پر شدن دانه، استفاده از تیمار مایکوریزا + *ازتوباکتر*، عملکرد دانه را به‌ترتیب ۱۳/۳ و ۲۳/۵ درصد در مقایسه با عدم کاربرد آن‌ها در همان سطح از قطع آبیاری، افزایش داد. در بررسی تأثیر تنش خشکی و کاربرد اسید هیومیک بر عملکرد کمّی و کیفی آفتابگردان مشخص شد که اعمال تنش خشکی، کاهش عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان را به دنبال دارد، درحالی‌که استفاده از اسید هیومیک با کاهش اثر منفی تنش منجر به بهبود عملکرد شد (Heidari, Payedar, Baradran Firozabad, & Abedinin Esfalati, 2020).

براساس نتایج پژوهش شعبانی و موحدی دهنوی (Shaabani, & Movahhedi Dehnavi, 2017)، استفاده تلقیقی از ۷۵ کیلوگرم کود نیتروژن و *ریزوبیوم* منجر به افزایش عملکرد کمّی و کیفی و درصد روغن سویا[2] رقم ویلیامز در منطقه گرم و خشک داراب (فارس) شد. در پژوهش کوچکی و همکاران (Koocheki, Bakhshaie, Khorramdel, Mokhtari, & Taherabadi, 2015) ترکیب باکتری حل‌کننده فسفات + نیتروکسین، ویژگی‌های کمّی و کیفی گیاه کنجد را افزایش داد. این پژوهشگران دلیل بهبود ویژگی‌های رشدی گیاهان در همزیستی با قارچ مایکوریزا را به تولید انواع مختلف هورمون‌ها و مواد زیستی محرک رشد و همچنین، توسعه ریشه در اثر فراهم‌سازی رطوبت و عناصر غذایی به‌ویژه فسفر گزارش کردند.

گیاه کنجد از گیاهان مقاوم در برابر خشکی می‌باشد، اما برخورداری کنجد از این ویژگی به معنی دستیابی به رشد و عملکرد مطلوب آن بدون فراهم‌سازی کمترین آب مورد نیاز گیاه نمی‌باشد (Asadi, Baradran, Seghatoleslami, & Moosavi, 2021). بنابراین، با توجه به مشکلات جدی در ارتباط با محدودیت منابع آبی و خشکسالی در کشور، به‌ویژه استان هرمزگان، و با توجه به این‌که پژوهش چندانی در زمینه کاربرد ترکیب‌های زیستی از جمله قارچ مایکوریزا و اسید هیومیک بر بهبود ویژگی‌های کمّی و کیفی کنجد در استان انجام نشده است، این پژوهش، با هدف بررسی تلفیقی کود شیمیایی فسفر با قارچ مایکوریزای آربوسکولار و اسید هیومیک در رژیم‌های آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد و میزان پروتئین دانه کنجد اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه‌ای واقع در روستای سرچاهان شهرستان حاجی‌آباد استان هرمزگان به عرض و طول جغرافیایی به‌ترتیب ۲۸/۳ درجه شمالی و ۵۵/۹ درجه شرقی و در ارتفاع ۹۳۱ متری از سطح دریا طی سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ انجام شد. ویژگی‌های آب‌وهوایی منطقه در طی دوره رشد گیاه در جدول ۱ ارائه شده است. پیش از شروع آزمایش، جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، از خاک مزرعه در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری صورت گرفت (جدول ۲).

آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد و تیمارهای آزمایش شامل رژیم‌های آبیاری در سه سطح، آبیاری پس از ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد

1- *Helianthus annuus* L.

2- *Glycin max*

تخلیه رطوبتی (به‌ترتیب I_1، I_2 و I_3)، در کرت‌های اصلی و تیمارهـای کودی در هفت سـطح، شـاهد (F_1)، ۱۰۰ درصـد نیـاز گیـاه بـه کـود شیمیایی فسفر (F_2)، تلقیح بـا قـارچ مـایکوریزا (F_3)، اسـید هیومیـک (F_4)، ۵۰ درصـد کـود شـیمیایی + مـایکوریزا (F_5)، ۵۰ درصـد کـود شیمیایی + اسید هیومیک (F_6) و ۵۰ درصد کود شیمیایی + مایکوریزا + اسیدهیومیک (F_7) در کرت‌های فرعی بودنـد. پـس از آماده‌سـازی مزرعه، کود نیتـروژن از منبـع اوره به‌مقـدار ۱۵۰ کیلـوگرم در هکتـار به‌صورت تقسیط (مراحل شش برگی، ساقه‌دهـی و شـروع گـل‌دهی) استفاده شد. کود پتاسیم نیز به‌مقدار ۱۰۰ کیلـوگرم در هکتـار از منبـع سولفات پتاسیم پیش از کاشت به‌کار رفت. تمامی مقادیر کود فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل براساس تیمارهای بیان‌شده، در زمان کاشت در کرت‌های مربوطه به‌کار برده شد، به‌طوری‌که بـرای تیمـار کـودی ۱۰۰ و ۵۰ درصد به‌ترتیب ۱۰۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اسـتفاده شد.

جدول ۱–ویژگی‌های آب‌وهوایی منطقه مورد مطالعه در طول دوره رشد کنجد در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲

Table 1- Climate weather characteristics of the region during the years 2022 and 2023

سال **Year**	ماه سال **Month of the year**	میانگین دمای کمینه **Average minimum temperature (°C)**	میانگین دمای بیشینه **Average maximum temperature (°C)**	مجموع بارش **Total precipitation (mm)**	میانگین رطوبت نسبی **Average relative humidity (%)**	میانگین ساعت آفتابی **Average of sunshine hours**
2022	اردیبهشت May	23.2	42.6	0	22	334
	خرداد June	27.7	40.1	49.4	40.6	285.2
	تیر July	26.3	41.5	3.1	17.4	354
	مرداد August	21.7	38.6	20.3	34.9	296.4
	شهریور September	13.8	34.6	0	34.1	309.1
	مهر October	9.8	27.1	22.2	49.1	258.3
جمع Total	-	122.5	224.5	95	198	1837
میانگین Average	-	20.4	37.4	-	33	306
2023		24.2	42	10	27.4	344.1
	اردیبهشت May	27.3	42.5	13	34.2	316.1
	خرداد June	26.1	42.1	0	25.3	330
	تیر July	22.8	39.9	0	34.1	280.9
	مرداد August	16.3	34.5	6.3	36.4	295
	شهریور September	9.5	26.7	22.4	49.4	243.9
جمع Total	مهر October	126.2	227.7	51.7	207.3	1810
میانگین Average	-	21	38	-	34.5	301.6

جدول ۲– ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 2- Physical and chemical properties of soil

سال **Year**	عمق **Depth (cm)**	**pH**	**FC (%)**	**PWP (%)**	**EC ($dS\ m^{-1}$)**	**Organic C (%)**	**N (%)**	**P ($mg\ kg^{-1}$)**	**K ($mg\ kg^{-1}$)**
2022	0-30	7.9	24	12	2.3	0.44	0.03	6.5	183
2023	0-30	7.8	-	-	2.2	0.52	0.02	5.8	200

گونه‌های مایکوریزای آربوسـکولار از بخـش تحقیقـات بیولـوژی مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه و به‌مقدار پنج گـرم از خـاک محتوی مایکوریزا برای هر بوته استفاده شد، به‌طوری‌که در هـر گـرم خاک تعداد ۱۲۰ اسپور قارچ وجود داشت. تیمارهای اسید هیومیک نیز به‌مقدار پنج کیلوگرم در هکتار در دو مرحله (آبیاری دوم و ساقه‌دهـی) برای تیمارهای مربوطه به‌کار برده شد.

بذرهای کنجد رقم داراب-۱ از ایستگاه تحقیقات کشاورزی شهرستان داراب تهیه و در ۲۰ خرداد ماه هر سال در کرت‌هایی با ابعاد ۱۲ مترمربع کاشته شد. بذر کنجد در روی خطوط ابتدا به‌صورت متراکم کشت شده و سپس، در مراحل اولیه رشدونمو (دو تا سه برگی) تنک شدند، به‌طوری‌که تراکم مورد نظر به‌دست آمد. در این آزمایش، فاصله بین ردیف‌ها ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۲۰ سانتی‌متر بود. بعد از کاشت بذرها، آبیاری اول و دوم جهت یکنواختی سبز شدن براساس ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی (شاهد) انجام شد و پس از آن، آبیاری براساس درصد تخلیه رطوبت آب قابل‌استفاده خاک در عمق توسعه ریشه اعمال شد. جهت اعمال تیمارهای آبیاری، اندازه‌گیری رطوبت خاک به‌روش وزنی از طریق نمونه‌گیری‌های مکرر از عمق توسعه ریشه در وسط هر کرت در هر تکرار انجام شد. آبیاری کرت‌ها به‌صورت جوی و پشته‌ای بود و مقدار آب مصرفی با در نظر گرفتن رطوبت ظرفیت زراعی خاک، مساحت هر کرت و عمق توسعه ریشه براساس مترمکعب از طریق رابطه (۱) محاسبه و آبیاری هر تیمار بر آن اساس انجام شد. مقدار آب مصرفی نیز توسط کنتور برای هر کرت آزمایشی اندازه‌گیری شد و جهت تعیین مقدار رطوبت خاک در شرایط ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم از دستگاه صفحه فشاری استفاده شد.

$$Ig = \frac{(\theta_{fc}-\theta_{pwp})\times t\times \rho\times D\times A\times 100}{E_a} \qquad (۱)$$

که در آن، θ_{fc}: مقدار رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی خاک (درصد)، θ_{pwp}: مقدار رطوبت خاک در نقطه پژمردگی (درصد)، t: درصد تخلیه رطوبت خاک، ρ: وزن مخصوص ظاهری خاک (کیلوگرم بر مترمربع)، D: عمق توسعه ریشه (متر)، A: مساحت کرت (مترمربع)، Ig: مقدار آب آبیاری (لیتر) و E_a: راندمان آب آبیاری (درصد) می‌باشد (Sanchez, Manzanares, De Andres, Tenorio, & Ayerbe, 1998). در طول دوران رشدونمو گیاه، عملیات وجین علف‌های هرز با دست انجام شد.

جهت تعیین ویژگی‌های زراعی (ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته و تعداد برگ) در مرحله گل‌دهی نمونه‌برداری انجام شد، به‌طوری‌که پس از حذف اثر حاشیه، تعداد ۱۰ بوته در هر کرت به‌صورت تصادفی انتخاب و میانگین ویژگی‌های مورد نظر محاسبه شد. همچنین، به‌منظور محاسبه عملکرد زیستی، بوته‌های یک مترمربع در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی از فاصله ۱۵ سانتی‌متری سطح زمین برداشت و پس از توزین نمونه‌های تر، در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۷۲ ساعت در آون خشک شد و در نهایت، عملکرد زیستی براساس کیلوگرم در هکتار گزارش شد.

پس از برداشت گیاهان در مهرماه هر سال، عملکرد دانه و اجزای آن شامل تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه به‌دست آمد و در نهایت، شاخص برداشت از رابطه (۲) محاسبه شد. جهت تعیین عملکرد زیستی، از هر کرت، مساحتی معادل یک مترمربع برداشت و پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه در آون با درجه حرارت ۶۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۷۲ ساعت خشک و پس از آن، وزن خشک به‌دست آمد. برای اندازه‌گیری مقدار نیتروژن دانه از روش کجلدال استفاده شد. سپس، با استفاده از رابطه (۳) محتوای پروتئین دانه به‌دست آمد. عملکرد پروتئین نیز از رابطه (۴) محاسبه شد.

$$\text{شاخص برداشت (درصد)} = \frac{\text{عملکرد اقتصادی (کیلوگرم بر هکتار)}}{\text{عملکرد زیستی (کیلوگرم بر هکتار)}} \times 100 \qquad (۲)$$

$$\text{غلظت پروتئین دانه (درصد)} = \text{مقدار نیتروژن (درصد)} \times 6 \cdot 25 \qquad (۳)$$

$$\text{عملکرد پروتئین (کیلوگرم بر هکتار)} = \text{غلظت پروتئین دانه (درصد)} \times \text{عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار)} \qquad (۴)$$

پس از جمع آوری داده‌ها و اطمینان از نرمال بودن آن‌ها و همگنی سال‌های آزمایش، تجزیه واریانس مرکب با نرم‌افزار SAS v.9.2 انجام شد و رسم نمودارها با نرم‌افزارهای Excel و R (3.5.2) صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز با کمک آزمون LSD (p<0.05) انجام شد.

نتایج و بحث

مطابق با جدول ۳، اثر سال‌های آزمایش بر ارتفاع بوته، تعداد برگ و کپسول در بوته و دانه در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد زیستی و دانه، میزان نیتروژن و پروتئین دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود، درحالی‌که بر تعداد شاخه فرعی، شاخص برداشت و عملکرد پروتئین از نظر آماری معنی‌دار نشد. اثر رژیم‌های آبیاری بر شاخص برداشت در سطح پنج درصد و بر سایر ویژگی‌ها در سطح یک درصد معنی‌دار شد. تیمارهای کودی نیز بر تعداد شاخه فرعی در سطح پنج درصد و بر سایر ویژگی‌ها در سطح یک درصد معنی‌دار بود. برهم‌کنش سال در رژیم‌های آبیاری تنها بر تعداد دانه در کپسول، میزان نیتروژن و پروتئین دانه و عملکرد پروتئین از لحاظ آماری معنی‌دار شد.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب اثر مایکوریزا، اسید هیومیک، کود شیمیایی و تلفیق آن‌ها در رژیم‌های آبیاری بر ویژگی‌های کنجد

Table 3- Composite variance analysis of the effect of mycorrhiza, humic acid, chemical fertilizer and their combination in irrigation regimes on sesame characteristics

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه فرعی Number of sub-branches	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	تعداد کپسول در بوته Number of capsules per plant	تعداد دانه در کپسول Number of grain per capsule	وزن هزار دانه Thousand grain weight	عملکرد زیستی Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index	نیتروژن دانه Grain nitrogen	پروتئین دانه Grain protein	عملکرد پروتئین Protein yield
سال Year (Y)	1	8850.2**	0.3ns	6893.8**	6329**	7873**	0.88**	41149714.6**	3170985**	1.4ns	15.2**	595**	194ns
تکرار (سال) Rep. (Y)	2	56	0.3	223	35.2	14	0.2	2342895	9128.2	62	0.002	0.08	516
آبیاری Irrigation (I)	2	2125**	3.5**	51643.8**	12180.6**	5429.5**	2**	112585004.7**	12568788.5**	162.7*	11**	428**	197453.8**
سال×آبیاری Y×I	2	59.5ns	0.04ns	203.2ns	86.6ns	352*	0.002ns	376515.6ns	57970.3ns	0.3ns	0.2**	7.7**	8248.4*
خطا Error a	4	78.6	0.1	153.2	48.3	25.7	0.06	1001898.4	33375.4	17.3	0.01	0.7	1250.6
کود Fertilizers (F)	6	10270**	0.3*	14402**	4538.8**	2401.7**	0.3**	1216090.5**	317163**	121**	3.7**	144.5**	48623.4**
سال×کود Y × F	6	255.6ns	0.003ns	115.8ns	32.6ns	124.5ns	0.006ns	80898.6ns	55919.4ns	32ns	0.02ns	1ns	1735.2ns
آبیاری×کود I × F	12	54.6ns	0.01ns	134ns	88ns	81.5ns	0.0003ns	106796.5ns	29335.3ns	12.5ns	0.02ns	1ns	2517ns
سال×آبیاری×کود Y × I × F	12	127.8ns	0.003ns	129.6ns	120ns	11ns	0.005ns	44911ns	13606ns	11.7ns	0.04ns	1.5ns	652.5ns
خطا Error	24	146	0.1	150	72.5	99.8	0.06	547843.3	45902	30	0.02	1	1573.4
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	11.6	23.3	8.2	16.2	23	16.2	16.4	18	20.3	6	6	20.4

ns، ** و *: به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح آماری یک درصد و پنج درصد براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

ns, ** and *: are respectively non-significant, significant at the statistical level of one percent and five percent based on the LSD test.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر سال‌های آزمایش بر ویژگی‌های زراعی و عملکرد کنجد

Table 4- Mean comparison of the effect of study years on agronomical characteristics and yield of sesame

سال‌های آزمایش Years of experiment	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	تعداد کپسول در بوته Number of capsules per plant	وزن هزار دانه Thousand grain weight (g)	عملکرد زیستی Biological yield (kg ha^{-1})	عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})
2022	111.8^{a*}	155.2^{a}	59.4^{a}	2.8^{a}	5065.4^{a}	1324^{a}
2023	95^{b}	140.4^{b}	45.2^{b}	2.3^{b}	3922.4^{b}	1026.6^{b}

* اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0.05$) نمی‌باشند.

* Numbers followed by the same letter are not significantly differentns ($P<0.05$)

ویژگی‌های زراعی

نتایج مقایسه میانگین رژیم‌های آبیاری حاکی از بیشترین ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و برگ در آبیاری I_1 داشت و با کاهش آب در دسترس، کاهش ویژگی‌های مذکور مشاهده شد (جدول ۵)، به‌طوری‌که در رژیم‌های آبیاری I_2 و I_3، ارتفاع بوته به‌ترتیب ۱۹/۴ و ۳۵/۴ درصد، تعداد شاخه فرعی ۳۷ و ۴۲ درصد و تعداد برگ ۲۵ و ۳۷ درصد نسبت به I_1 کاهش یافت. گزارش شده است که بین افزایش تنش خشکی و کاهش هر یک از ویژگی‌های رشدی گیاه ارتباط مستقیمی وجود دارد، به‌طوری‌که تنش خشکی با توجه به مرحله رشدی می‌تواند آسیب به ویژگی‌های رویشی و اجزای عملکرد گیاه را به دنبال داشته باشد که منجر به کاهش عملکرد اقتصادی می‌شود (Yemata & Bekele, 2024). مطابق با نتایج این پژوهش، برده‌جی و همکاران (Bardehji, Eshghizadeh, & Zahedi, 2020) کوتاه‌قدی گیاهان در تیمارهای تنش خشکی را به رقابت بین بوته‌های گیاه جهت به‌دست آوردن آب عنوان کردند که به تبع آن، تخصیص مواد فتوسنتزی به ساقه کاهش می‌یابد. همچنین، در بررسی تنش خشکی بر ویژگی‌های مورفولوژی کنجد، کاهش نزدیک به ۲۲ و ۵۰ درصدی ارتفاع بوته و تعداد برگ در شرایط تنش آبی نسبت به شاهد گزارش شد (Yemata & Bekele, 2024).

همان‌گونه که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، تیمار کودی F_7 بیشترین ارتفاع بوته را با میانگین ۶۴ درصد نسبت به F_1 به خود اختصاص داد. این در حالی بود که دو تیمار کودی F_6 و F_5 نیز با F_7 در سطح آماری مشترکی قرار داشتند. سپس، F_4 و F_3 بدون اختلاف با یکدیگر و به‌ترتیب با ۳۱ و ۳۳ درصد افزایش در مقایسه با F_1، قرار داشتند و در نهایت، F_2، ۱۰/۵ درصد افزایش نسبت به F_1، مشاهده شد. تعداد شاخه فرعی نیز در F_7 از بیشترین مقدار، ۵۵ درصد افزایش در مقایسه با F_1، برخوردار بود، درحالی‌که تیمارهای F_6، F_5، F_4 و F_3 با F_7 در گروه آماری مشترکی قرار داشتند. در نهایت، F_2 با افزایش اندکی نسبت به F_1 و بدون اختلاف با آن، مشاهده شد. تیمار F_7 همچنین، بیشترین تعداد برگ را با افزایش ۵۶/۶ درصدی نسبت به F_1، به خود اختصاص داد. در مرتبه بعد، F_6 و F_5، ۴۳ درصد افزایش در مقایسه با F_1، قرار داشتند، سپس F_3 و F_4، به‌ترتیب ۱۹ و ۱۸ درصد افزایش در مقایسه با F_1 و بدون اختلاف مشاهده شد.

مطابق با نتایج این پژوهش، کاربرد تلفیقی سه‌گانه و دوگانه کود شیمیایی فسفر با مایکوریزا و اسید هیومیک منجر به بهبود ویژگی‌های زراعی کنجد در مقایسه با کاربرد جداگانه آن‌ها شد. این در حالی بود که کاربرد انفرادی مایکوریزا و اسید هیومیک نیز توانست از ویژگی‌های رشدی مطلوب‌تری نسبت به کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی فسفر و یا عدم کاربرد آن برخوردار شود. سازوکارهای

متفاوتی برای تأثیر مایکوریزا بر رشد گیاهان بیان شده است، از قبیل افزایش جذب مواد غذایی نیتروژن، فسفر و عناصر کم‌مصرف، چرا که در گیاه مایکوریزایی نسبت به غیر مایکوریزایی، با ایجاد شبکه هیفی گسترده قارچ بین خاک و ریشه، سطح وسیعی را جهت جذب مواد مغذی فراهم می‌کند (Gholinezhad, Darvishzadeh, Siavash Moghaddam, & Popović-Djordjević, 2020). اسید هیومیک نیز قادر است با افزایش ظرفیت فتوسنتزی، محتوی آب برگ و سوخت‌وساز ترکیب‌های آنتی‌اکسیدانی منجر به بهبود ویژگی‌های رشدی گیاهان شود (Jahan, Nassiri Mahallati, & Amiri, 2019).

در بررسی تلفیقی کودهای زیستی، شیمیایی و اسید هیومیک بر گیاه ریحان[1] مشخص شد که تیمار کودهای زیستی + ۵۰ درصد کودهای شیمیایی + اسید هیومیک، بیشترین تعداد برگ را تولید کرد که تفاوت معنی‌داری با شاهد داشت. به اعتقاد آن‌ها، به‌دلیل تأثیر رشد رویشی گیاه از فعالیت ریشه و انتقال آب و عناصر غذایی توسط آن، ممکن است کودهای زیستی با تولید مواد تنظیم‌کننده رشد و اسید هیومیک با بهبود ساختار خاک، منجر به افزایش گسترش ریشه، جذب آب و عناصر غذایی و در نهایت، افزایش ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی و تعداد برگ گیاه شود (Jahan, Ghaleonee, Khamooshi, & Amiri, 2015).

براساس نتایج این مطالعه (جدول ۴)، ارتفاع بوته و تعداد برگ در سال ۱۴۰۲، ۱۵ و ۱۰ درصد به‌ترتیب، در مقایسه با سال ۱۴۰۱ کاهش یافت. در سال اول، بارندگی در طی فصل رشد گیاه نسبت به سال دوم، نزدیک به ۸۴ درصد افزایش نشان داد که می‌تواند دلیل بهبود ویژگی‌های رشدی گیاه در سال ۱۴۰۱ باشد، چرا که افزایش دسترسی گیاه به آب با افزایش آماس سلولی، رشد و تقسیم سلول‌ها را بهبود می‌دهد (Yemata & Bekele, 2024).

اجزای عملکرد

مطابق با جدول ۵، بیشترین تعداد کپسول در بوته و وزن هزار دانه برای آبیاری I_1 به‌دست آمد که به‌ترتیب ۳۵ و ۶۵ درصد تعداد کپسول در بوته و ۳۲ و ۵۳ درصد وزن هزار دانه بیشتری نسبت به I_2 و I_3 نشان داد. نتایج برهم‌کنش سال در رژیم‌های آبیاری بر تعداد دانه در کپسول (شکل ۱)، نیز حاکی از بیشترین تعداد دانه در هر سه تیمار آبیاری برای سال اول نسبت به سال دوم داشت، به‌طوری‌که تیمارهای I_1، I_2 و I_3 در سال ۱۴۰۱ به‌ترتیب ۴۹، ۳۷ و ۳۶/۸ درصد تعداد دانه بیشتری نسبت به سال ۱۴۰۲ داشتند. افزون‌براین، بیشترین تعداد دانه در کپسول در هر دو سال، مربوط به تیمار I_1 بود که با کاهش آب در دسترس، کاهش تعداد دانه نیز مشاهده شد. کاهش اجزاء عملکرد کنجد در اثر تنش خشکی را می‌توان به کاهش رشد اندام‌های زایشی گیاه و کاهش تولید و تخصیص مواد فتوسنتزی به آن‌ها نسبت داد (Yemata & Bekele, 2024). با توجه به فصل کشت کنجد در کشور، بروز تنش خشکی در طول فصل رشد اثر منفی درجه حرارت تابستان را تشدید می‌کند که در این شرایط، تشکیل و رشد کپسول و دانه در هر بوته به کمترین مقدار رسیده که به تبع آن، کاهش عملکرد دانه را به دنبال دارد.

بهبود شرایط رشد بوته‌ها با افزایش آبیاری به‌دلیل تحریک رشد رویشی و افزایش تولید و تجمع ماده خشک که در نهایت، به افزایش اجزای عملکرد منجر می‌شود، در پژوهش‌های بسیاری گزارش شده است. در بررسی محرابی‌زاده و احسان‌زاده (Mehrabi Zadeh & Ehsan Zade, 2012)، وزن هزار دانه کنجد تحت تأثیر شرایط آبیاری قرار نگرفت، اما افزایش به‌ترتیب حدود ۳۵ و ۲۱ درصدی تعداد کپسول و دانه کنجد با کاهش دور آبیاری از هشت به شش روز گزارش شد. همچنین، کاهش اجزای عملکرد کنجد به‌ویژه تعداد شاخه جانبی و کپسول، در اثر افزایش فاصله آبیاری و کاهش رشد رویشی بیان شد (Dutta, Bandyopadhyay, & Maity, 2000).

براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین تعداد کپسول در بوته و دانه در کپسول و وزن هزار دانه در تیمار F_7 به‌دست آمد. این در حالی بود که تعداد دانه در هر کپسول در F_5 و F_6 و وزن هزار دانه در F_3، F_4 و F_6 با تیمار بیان‌شده دارای حرف مشترک آماری بودند. کمترین مقادیر ویژگی‌های مذکور نیز با ۵۹، ۵۲ و ۳۱ درصد کاهش برای به‌ترتیب تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه مربوط به F_1 بود (جدول ۶). قارچ مایکوریزا ممکن است با بهبود جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر و اسید هیومیک با افزایش فتوسنتز و جذب عناصر غذایی (Jahan *et al.*, 2019) منجر به بهبود اجزای عملکرد گیاه در مزرعه شده باشد. در پژوهشی گزارش شد که تلقیح کنجد با قارچ مایکوریزا *G.mosseae* منجر به افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه نسبت به شاهد شد (Gholinezhad, Darvishzadeh, & Abhari, 2022). در بررسی کوچکی و همکاران (Koocheki *et al*., 2015) تلقیح با گونه‌های مایکوریزا بر اجزای عملکرد کنجد اثر بسیار معنی‌دار داشت و تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه نسبت به شاهد به‌ترتیب ۹۰، ۴۳ و ۴۹ درصد بهبود یافت. نوری حسینی و همکاران (Nourihoseini, Khorasani, Astaraei, Rezvani Moghadam, & Zabihi, 2017) گزارش کردند که استفاده تلفیقی از کودهای شیمیایی + اسید هیومیک + کود گاوی در مقایسه با کاربرد جداگانه هر یک از آن‌ها منجر به افزایش اجزای عملکرد زیره سیاه[2] می‌شود.

1- *Ocimum basilicum*

2- *Bunium persicum* Boiss

همان‌گونه که در نتایج مقایسه میانگین‌ها جدول ۴، مشاهده می‌شود، بالاترین تعداد کپسول در بوته و وزن هزار دانه به‌ترتیب با ۳۱/۴ و ۲۲ درصد افزایش نسبت به سال ۱۴۰۲، در سال ۱۴۰۱ به‌دست آمد. افزایش بارندگی در سال اول نسبت به سال دوم بهبود ویژگی‌های زراعی و همچنین، اجزای عملکرد کنجد را به‌دنبال داشت، چرا که افزایش ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی کنجد به افزایش تعداد کپسول در بوته منجر می‌شود (Kalantari, Armin, & Marvi, 2021). افزایش وزن هزار دانه در سال ۱۴۰۱ نسبت به ۱۴۰۲ می‌تواند به رقابت شدید گلچه‌های بارور و دانه‌های کپسول برای جذب مواد فتوسنتزی در سال اول مرتبط باشد که در نتیجه، وزن هزار دانه را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. پژوهشگران اعتقاد دارند که وزن هزار دانه از ویژگی‌هایی است که بیشتر از عوامل ژنتیکی تأثیر می‌پذیرد، ازاین‌رو کمتر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد (Kalantari *et al.*, 2021)، اما در این مطالعه، وزن هزار دانه کنجد تحت تأثیر شرایط بهتر آب‌وهوایی منطقه در سال اول قرار گرفت. در پژوهشی گزارش شد که وجود تنش خشکی در طی دوره رشد گیاه کنجد به‌دلیل کوتاهی دوره پر شدن دانه و کاهش انتقال کربوهیدرات‌ها به دانه که خود به‌علت کاهش سطح برگ و فتوسنتز می‌باشد، وزن هزار دانه را کاهش می‌دهد (Nasir & Toth, 2020).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر رژیم‌های آبیاری بر ویژگی‌های زراعی و عملکردی کنجد

Table 5- Mean comparison of average the effect of irrigation regimes on agronomical characteristics and yield of sesame

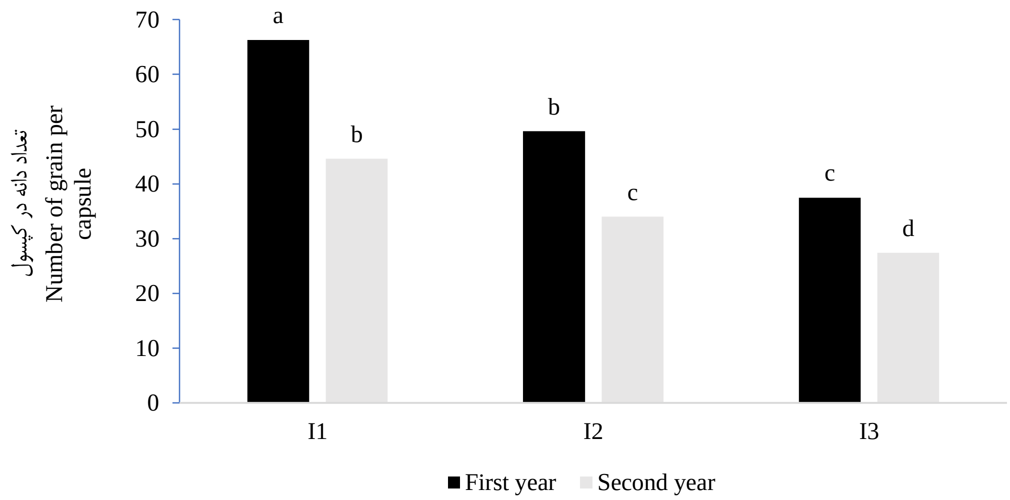
رژیم‌های آبیاری Irrigation regimes	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه فرعی Number of sub-branches	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	تعداد کپسول در بوته Number of capsules per plant	وزن هزار دانه Thousand grain weight (g)	عملکرد زیستی Biological yield (kg ha^{-1})	عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})	شاخص برداشت Harvest index (%)
I1	126.6^{a*}	3.8^{a}	186^{a}	68.2^{a}	3.3^{a}	6119.3^{a}	1773.3^{a}	29^{a}
I2	102^{b}	2.54^{b}	140^{b}	50.5^{b}	2.5^{b}	4300.6^{b}	1091^{b}	26.2^{ab}
I3	81.7^{c}	2.19^{b}	117.3^{c}	41.3^{c}	2.16^{c}	2962^{c}	691.4^{c}	25.2^{b}

* اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار (P<0.05) نمی‌باشند.

* Numbers followed by the same letter are not significantly differentns (P<0.05)

I1، I2 و I3 : به‌ترتیب آبیاری پس از ۴۰ (شاهد)، ۶۰ و ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی

I1, I2 and I3: irrigation after 40 (control), 60 and 80 percent of moisture discharge, respectively



شکل ۱- برهم‌کنش سال در رژیم آبیاری بر تعداد کپسول در کنجد

Figure 1- The interaction of the year in the irrigation regime on the number of capsules in sesame

I1، I2 و I3 : به‌ترتیب آبیاری پس از ۴۰ (شاهد)، ۶۰ و ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی

I1, I2 and I3: irrigation after 40 (control), 60 and 80 percent of moisture discharge, respectively

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار (P<0.05) نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter are not significantly differentns (P<0.05).

عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت

براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، اعمال آبیاری طبیعی برای بوته‌های کنجد منجر به افزایش عملکرد زیستی، دانه و شاخص برداشت شد و کاهش آب در دسترس، عملکرد کنجد را کاهش داد. به‌طوری‌که در تیمارهای I_2 و I_3 نسبت به I_1 کاهش عملکرد زیستی و دانه معنی‌دار بود، امّا شاخص برداشت در تیمار I_2 با I_1 اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین مقادیر نیز برای I_3، با به‌ترتیب ۳۱، ۳۸ و ۱۳ درصد کاهش نسبت به I_1، برای عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت، ثبت شد (جدول ۵). براساس گزارش اسکندری و همکاران (Eskandari, Zehtab Salmasi, & Ghasemi-Golezani, 2010)، کمبود آب در کنجد منجر به کاهش ارتفاع بوته و تعداد برگ در گیاه می‌شود و ازآن‌جایی‌که این ویژگی‌ها همبستگی مثبت با عملکرد دارند، کاهش آن‌ها می‌تواند عملکرد گیاه را با کاهش مواجه سازد. در پژوهشی دیگر مشخص شد که اعمال تنش خشکی در مرحله گل‌دهی و کپسول‌دهی کنجد منجر به کاهش ۵۶ و ۴۵ درصدی عملکرد نسبت به شاهد می‌شود (Farahbakhsh & Farahbakhsh, 2015).

شاخص برداشت تا حد زیادی به عوامل ژنتیکی گیاه در تبدیل و تخصیص مواد فتوسنتزی به مخزن (دانه‌ها) مرتبط می‌باشد (Koocheki *et al.*, 2015). اما پژوهش‌هایی وجود دارد که نشان می‌دهد، شاخص برداشت توسط سایر عوامل نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Gholinezhad *et al.*, 2017). به نظر می‌رسد که در این مطالعه، افت شاخص برداشت کنجد به‌دلیل تنش واردشده به اندام‌های رویشی و زایشی گیاه مربوط باشد، به‌طوری‌که کاهش مقدار آب در I_3 تأثیر بیشتری بر عملکرد دانه نسبت به عملکرد زیستی داشت که منجر به کاهش شاخص برداشت شد.

مطابق با نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۶)، تیمار F_5 بیشترین مقدار عملکرد زیستی، عملکرد دانه و به تبع آن شاخص برداشت را به خود اختصاص داد. لازم به ذکر است که F_6 و F_7 نیز با تیمار بیان شده اختلاف معنی‌دار نشان ندادند. کمترین عملکرد زیستی، عملکرد دانه و شاخص برداشت نیز به F_1 به‌ترتیب با ۳۸، ۲۷ و ۲۱/۶ درصد کاهش تعلق داشت. به نظر می‌رسد که کاربرد مقادیر کاهش یافته کود شیمیایی همراه با کودهای زیستی منجر به افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کنجد در منطقه شده باشد که با افزایش عملکرد زیستی و دانه کنجد (Koocheki *et al.*, 2015) و آفتابگردان (Jamshidi, Ghalavand, Salehi, Javad Zare, & Jamshidi, 2009) در اثر تلقیح با گونه‌های مایکوریزا مطابقت داشت. این موضوع می‌تواند به‌دلیل فراهم‌سازی نیاز تغذیه‌ای گیاه در تیمارهای تلفیقی نسبت به سایر تیمارها باشد، چرا که مواد آلی و زیستی با تأثیر مثبت بر جذب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف، بهبود توزیع آب در گیاه، افزایش فعالیت نیترات ردوکتاز و تولید هورمون‌های گیاهی، افزایش عملکرد گیاه را به‌دنبال دارند. همچنین، همزیستی گیاهان با قارچ مایکوریزا با افزایش ساخت مواد فتوسنتزی و افزایش راندمان انتقال این مواد به مخازن زایشی، منجر به افزایش عملکرد دانه و عملکرد زیستی می‌شود (Koocheki *et al.*, 2015). از سویی دیگر، دلیل مطلوب بودن تیمارهای تلفیقی نسبت به سایر تیمارهای کودی در این تحقیق می‌تواند به کمبود مواد آلی در خاک منطقه مربوط باشد که بهترین عملکرد در تیمارهایی با بیشترین دسترسی به عناصر پرمصرف و کم‌مصرف مشاهده شد.

مطابق با جدول ۴، در سال دوم بیشترین عملکرد دانه و عملکرد زیستی به‌دست آمد که به‌ترتیب ۲۲/۵ و ۲۲/۴ درصد کمتر از سال اول بود. افزایش ویژگی‌های رویشی و اجزاء عملکرد در سال ۱۴۰۱ منجر به بهبود عملکرد اقتصادی کنجد شد. ممکن است بارندگی بیشتر در سال اول با تحریک رشد اندام‌های فتوسنتزی و ارتفاع گیاه، افزایش عملکرد زیستی و دانه را به علت افزایش تولید و تجمع مواد فتوسنتزی منجر شده باشد. براساس نتایج این مطالعه، در پژوهشی دلیل اصلی کاهش عملکرد کنجد در اثر کاهش مقدار آب در دسترس گیاه به کاهش ارتفاع بوته نسبت داده شد (Koocheki *et al.*, 2015).

درصد نیتروژن، پروتئین و عملکرد پروتئین

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین درصد نیتروژن و پروتئین دانه در هر سه رژیم آبیاری در سال دوم بیشتر از سال اول می‌باشد. افزون‌براین، I_2 و I_3 در هر دو سال، مقادیر نیتروژن و پروتئین بیشتری را نسبت به I_1 تولید کردند. در نتیجه، کمترین مقدار نیتروژن و پروتئین دانه به‌ترتیب با ۴۸ درصد کاهش نسبت به I_3، در آبیاری I_1 در سال ۱۴۰۱ به‌دست آمد، درحالی‌که بیشترین عملکرد پروتئین برای I_1 در سال دوم آزمایش حاصل شد که با I_2 در سال اول اختلاف معنی‌دار نداشت. کمترین عملکرد پروتئین نیز در هر دو سال در آبیاری I_3، نزدیک به ۵۳ و ۵۸ درصد کاهش نسبت به I_1 به‌ترتیب برای سال اول و دوم، ثبت شد که با یکدیگر تفاوت معنی‌دار نداشتند (شکل ۲).

مطابق با نتایج این پژوهش، افزایش پروتئین دانه در تنش خشکی نسبت به غیرتنش گزارش شده است. در بررسی شرایط تنش خشکی انتهای فصل بر گیاه نخود[1]، افزایش درصد پروتئین در شرایط قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی نسبت به شاهد گزارش شد (Abhari, & Haresabadi, 2017).

1- *Cicer arietinum*

جدول ٦- مقایسه میانگین تیمارهای کودی بر ویژگی‌های زراعی، اجزای عملکرد، عملکرد و پروتئین دانه کنجد

Table 6- Mean comparison of fertilizer treatments on agronomical characteristics, yield components, yield and grain protein of sesame

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Plant height (cm) ارتفاع بوته	76^{d*}	84^{c}	101^{b}	99.5^{b}	122.8^{a}	122^{a}	124.8^{a}
Number of sub-branches تعداد شاخه فرعی	2.19^{b}	2.3^{b}	2.5^{ab}	2.6^{ab}	3^{ab}	3^{ab}	3.4^{a}
Number of leaves تعداد برگ	115.2^{e}	125^{d}	137.7^{c}	135.8^{cd}	165^{b}	164.6^{b}	180.5^{a}
Number of capsules per plant تعداد کپسول در بوته	42^{cd}	45^{c}	46.7^{c}	47.2^{c}	60^{b}	60^{b}	72.3^{a}
Number of grain per capsule تعداد دانه در کپسول	26.2^{c}	35.7^{b}	38.6^{b}	38^{b}	55.7^{a}	54.2^{a}	54.5^{a}
Thousand grain weight (g) وزن هزار دانه	2^{c}	2.2^{bc}	2.5^{abc}	2.4^{abc}	3^{a}	2.9^{ab}	2.9^{ab}
Biological yield (kg ha^{-1}) عملکرد زیستی	3298^{c}	3954.8^{bc}	4148.5^{b}	4094.8^{b}	5357.4^{a}	5326.7^{a}	5277.5^{a}
Grain yield (kg ha^{-1}) عملکرد دانه	969^{c}	1066^{bc}	1173.4^{ab}	1172.3^{ab}	1330.6^{a}	1276^{a}	1309^{a}
Harvest index (%) شاخص برداشت	23.5^{c}	24.4^{bc}	24.6^{bc}	27.5^{abc}	28.7^{ab}	29^{ab}	30^{a}
Grain nitrogen (%) نیتروژن دانه	2^{d}	2.3^{c}	2.6^{b}	2.5^{b}	3.2^{a}	3.1^{a}	3^{a}
Grain protein (%) پروتئین دانه	12.6^{d}	14.5^{c}	16.5^{b}	15.8^{b}	20^{a}	19.5^{a}	19.3^{a}
Protein yield (kg ha^{-1}) عملکرد پروتئین	122^{d}	154.5^{cd}	165^{b}	176.5^{bc}	214.7^{a}	195^{a}	200.7^{b}

* اعداد با حروف مشترک در هر ردیف دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0.05$) نمی‌باشند.

* Numbers followed by the same letter in each row are not significantly differentns ($P<0.05$)

F_1: شاهد (control)، F_2: ۱۰۰ درصد نیاز گیاه به کود شیمیایی فسفر (100% P_2O_5)، F_3: تلقیح با مایکوریزا (mycorrhizal)، F_4: اسید هیومیک (humic acid)، F_5: ۵۰ درصد کود شیمیایی + مایکوریزا (50%P_2O_5 + mycorrhizal)، F6: ۵۰ درصد کود شیمیایی+اسید هیومیک ((50%P_2O_5 + humic acid))، F7: ۵۰ درصد کود شیمیایی + مایکوریزا + اسید هیومیک (50%P_2O_5 + mycorrhizal + humic acid).

به نظر می‌رسد که این موضوع به‌دلیل کاهش طول دوره رشدونمو باشد که منجر به کاهش نسبت کربوهیدرات‌ها به پروتئین شده و در نتیجه، درصد پروتئین افزایش می‌یابد. ازاین‌رو، کمبود رطوبت در سال دوم نسبت به سال اول منجر به افزایش درصد نیتروژن و پروتئین در تیمارهای I_2 و I_3 شد، درحالی‌که کاهش عملکرد پروتئین در سال دوم و در تیمارهای تنش به‌علت کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی می‌باشد. قلی‌نژاد (Gholinezhad, 2017) نیز کاهش عملکرد پروتئین توده‌های محلی کنجد را در تنش خشکی شدید و ملایم به‌ترتیب ۶۷ و ۵۲ درصد، در منطقه ارومیه گزارش کرد.

براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۶)، تیمارهای F_5، F_6 و F_7 بدون تفاوت معنی‌دار، بیشترین درصد نیتروژن، پروتئین و عملکرد پروتئین را به خود اختصاص دادند و کمترین مقادیر نیز به‌ترتیب با ۳۷/۵، ۳۷ و ۵۴/۴ درصد کاهش مربوط به F_1 بود. این نتایج با تحقیق قلی‌نژاد (Gholinezhad, 2017) در مورد تأثیر کاربرد گونه‌های مایکوریزا بر افزایش درصد پروتئین دانه کنجد هم‌خوانی داشت. بنابراین، کاربرد قارچ مایکوریزا با افزایش ماده آلی منجر به افزایش دسترسی به آب در منطقه ریزوسفر شده که بر دسترسی گیاه به عناصر غذایی نیز مؤثر بوده است (Koocheki *et al.*, 2015). در نتیجه، گیاه به‌دلیل توسعه ریشه و فراهمی آب و مواد غذایی به‌مقدار کافی از سویی، در برابر تنش کم‌آبی مقاوم شده و از سوی دیگر، ویژگی‌های کمّی و کیفی آن بهبود یافته است.

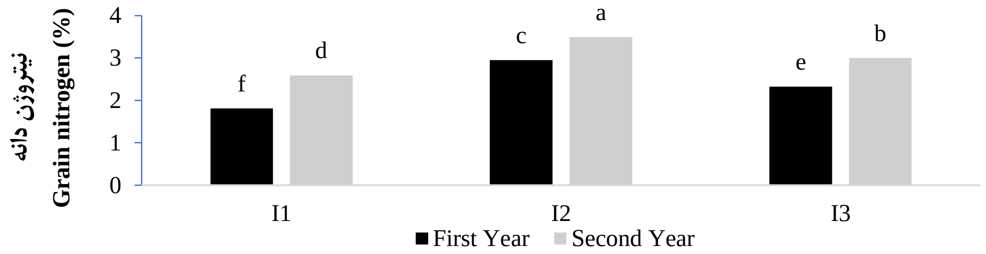
اسید هیومیک با برقراری ترکیب‌های محلول با عناصر کم‌مصرف می‌تواند بیشترین اثر را بر مقدار نیتروژن گیاه داشته باشد. ازآن‌جایی‌که درصد پروتئین به درصد نیتروژن وابسته می‌باشد، مقدار پروتئین گیاه نیز با افزایش مواجه می‌شود (Zarehmanesh, Eisvand, Akbari, Ismaili, & Feizian, 2021). افزایش درصد پروتئین دانه در اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک در گندم توسط محمودی زویک و همکاران (Mahmoodi Zouik, Nasri, & Ovisi, 2016) گزارش شده است. این نویسندگان بیان کردند که اسید هیومیک و ترکیب‌های آن قادر است با افزایش توانایی ریشه‌ها در جذب عناصر کم‌مصرف و پرمصرف و همچنین، توسط شرکت در فعالیت‌های آنزیمی گیاه که منجر به ساخت و انتقال پروتئین به دانه‌ها شود و تولید پروتئین در مخازن گیاه افزایش دهد.

همبستگی ویژگی‌های مورد بررسی

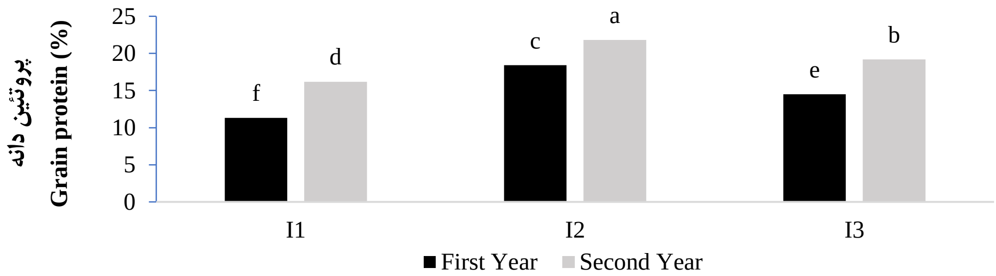
نتایج به‌دست آمده از آزمون تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)[1] و ترسیم بای‌پلات نشان داد که ۶۷/۷ و ۲۱/۲ درصد ویژگی‌های مورد مطالعه، به‌ترتیب مؤلفه اول و دوم را در سال اول و ۶۹/۷ و ۲۴/۶

1- *Principal components* analysis

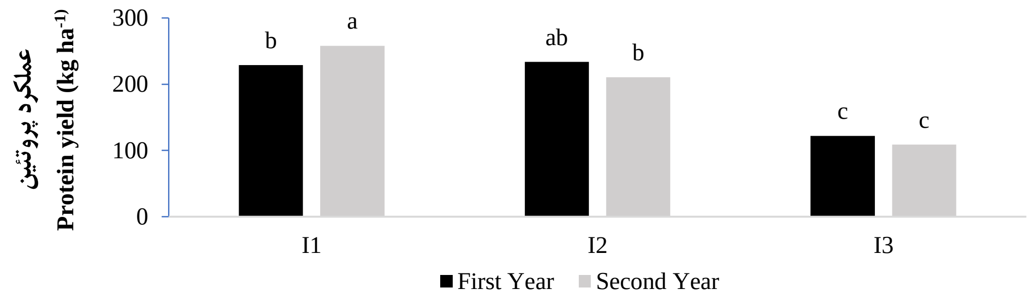
درصد را در سال دوم شامل شدند. به‌طور کلی، گروه‌بندی ویژگی‌های مورد بررسی در شرایط آبیاری و کود مورد استفاده در دو سال تفاوت چشمگیری نداشت و تنها برخی از ویژگی‌ها از قبیل شاخص برداشت در سال دوم، تأثیرگذاری بیشتری از سال اول نشان داد.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۲- برهم‌کنش اثر سال در رژیم آبیاری بر غلظت نیتروژن و پروتئین دانه و عملکرد پروتئین دانه کنجد

Figure 2- Interaction effect of year in irrigation regime on sesame nitrogen and protein and seed protein yield

I_1، I_2 و I_3 : به‌ترتیب آبیاری پس از ۴۰ (شاهد)، ۶۰ و ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی

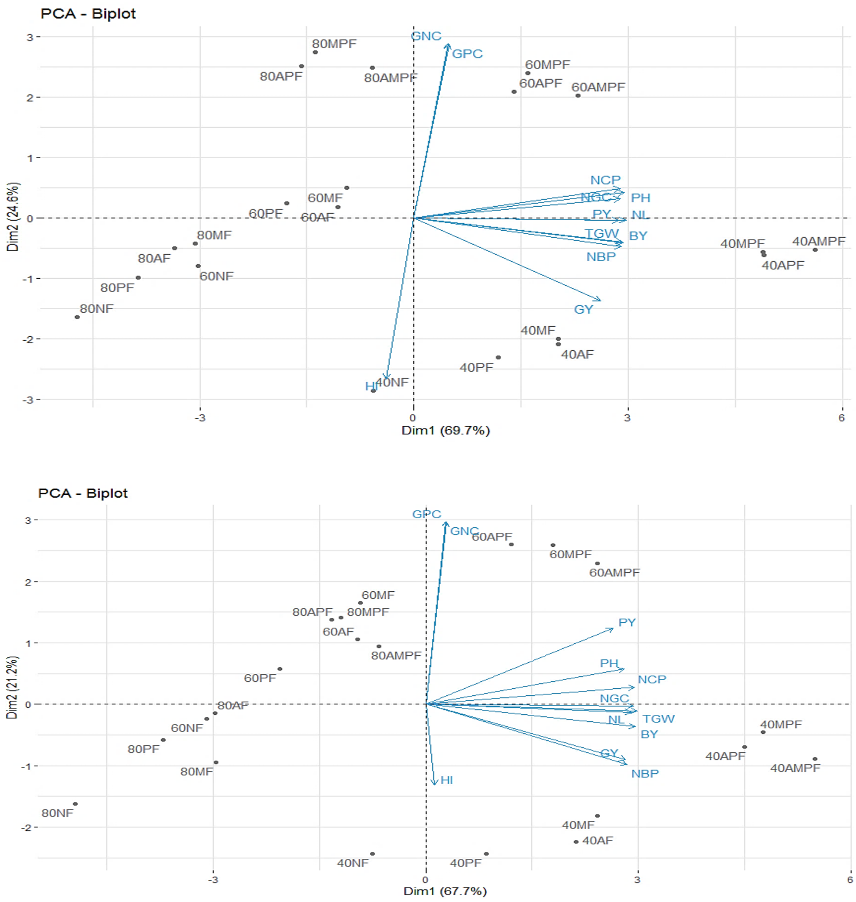
I1, I2 and I3: irrigation after 40 (control), 60 and 80 percent of moisture discharge, respectively

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0.05$) نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter are not significantly differentns ($P<0.05$)

در این شرایط، مقادیر نیتروژن و پروتئین دانه در هر دو سال همبستگی مثبت با یکدیگر داشت و متأثر از آبیاری I_2 و کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر + اسید هیومیک، ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر + مایکوریزا و ترکیب تلفیقی هرسه کود بود، درحالی‌که شاخص برداشت در جهت مخالف، همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری با مؤلفه دیگر نشان داد و تحت تأثیر آبیاری I_1 و کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی فسفر قرار داشت. سایر ویژگی‌ها نیز همبستگی مثبتی با یکدیگر نشان دادند و تحت تأثیر مؤلفه اول بودند که بیشترین مقدار را در آبیاری I_1 و ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر + اسید هیومیک، ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر + مایکوریزا و تلفیقی از

هر سه کود بودند (شکل ۳).



شکل ۳- نمودار بای‌پلات ویژگی‌های مورد بررسی تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری و تیمارهای کودی

Figure 3- Bi-plot diagram of investigated characteristics under the influence of irrigation regimes and fertilizer treatments

سمت راست، سال اول و سمت چپ، سال دوم آزمایش می‌باشد.

The right side is the first year and the left side is the second year of the experiment.

PH: ارتفاع بوته، GY: عملکرد دانه، BY: عملکرد زیستی، HI: شاخص برداشت، TGW: وزن هزار دانه، NCP: تعداد کپسول در بوته، NGC: تعداد دانه در کپسول، NL: تعداد برگ، NBP: تعداد شاخه فرعی، GPC: محتوی پروتئین دانه، PY: عملکرد پروتئین و GNC: غلظت نیتروژن دانه

PH: plant height, GY: grain yield, BY: biological yield: HI: harvest index, TGW: 1000- grain weigh, NCP: number of capsules per plant, NGC: number of grain per capsules, NL: number of leaf, NBP: number of branch per plant, GPC: grain protein content, PY: protein yield and GNC: grain nitrogen content

نتیجه‌گیری

امروزه توجه به مدیریت خاک و شیوه‌های کشاورزی پایدار که منجر به افزایش تنوع زیستی و جمعیت میکروبی می‌شود، مورد توجه پژوهشگران قرار دارد، چرا که به‌دلیل وجود تنش آبی و محدودیت دسترسی به آب، کاربرد این روش‌ها منجر به افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش نزدیک به ۸۵ درصدی بارندگی در سال ۱۴۰۱ نسبت به ۱۴۰۲ منجر به افزایش حدود ۱۸ درصدی ارتفاع بوته، ۱۰ درصدی تعداد برگ، ۳۱ درصدی تعداد کپسول در بوته، ۲۲ درصدی وزن هزار دانه، ۲۹ درصدی عملکرد زیستی و عملکرد دانه شد که خود گویای ضرورت فراهم‌سازی رطوبت مورد نیاز کنجد در منطقه می‌باشد.

نتایج این پژوهش همچنین نشان داد که ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و تعداد برگ در تیمار آبیاری پس از ۸۰ درصد تخلیه رطوبت خاک نسبت به شاهد به‌ترتیب نزدیک به ۳۵، ۵۰ و ۳۷ درصد کاهش یافت که مقدار کاهش برای تعداد کپسول در هر بوته، وزن هزار دانه، عملکرد زیستی و دانه و شاخص برداشت به‌ترتیب حدود ۴۸، ۴۲، ۵۲، ۶۱ و ۱۳ درصد بود. به‌طور مخالف، کاهش دسترسی گیاه به آب، نیتروژن و پروتئین دانه کنجد را افزایش داد. نتایج نشان داد که تلقیح قارچ مایکوریزا و اسید هیومیک افزایش عملکرد کمّی و کیفی کنجد

را به‌دنبال داشت. در این میان، تلفیق مقادیر کاهش‌یافته کود شیمیایی فسفر + قارچ مایکوریزا + اسید هیومیک، بیشترین ارتفاع بوته (۶۲/۵ درصد)، تعداد شاخه فرعی (۵۵ درصد)، تعداد برگ (۵۷ درصد)، تعداد کپسول در بوته (۷۲ درصد)، تعداد دانه در کپسول (۷۱ درصد)، وزن هزار دانه (۴۵ درصد)، عملکرد زیستی (۶۰ درصد)، عملکرد دانه (۳۵ درصد)، شاخص برداشت (۲۸ درصد)، نیتروژن (۵۰ درصد)، پروتئین (۵۳ درصد) و عملکرد پروتئین (۷۶ درصد) را نسبت به شاهد به‌دنبال داشت. در مجموع، به نظر می‌رسد که به‌دلیل کمبود مواد آلی خاک، کاربرد غلظت‌های کاهش‌یافته کودهای شیمیایی همراه با کودهای زیستی و آلی می‌تواند در بهبود عملکرد کمّی و کیفی گیاه کنجد در منطقه حاجی‌آباد نقش مهمی داشته باشد.

References

1. Abhari, A., & Haresabadi, B. (2017). The effect of super absorbent on yield and yield components of chickpea under season terminal drought stress conditions. *Crop Production*, *10*(1), 191-202. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/EICP.2017.10427.1819
2. Asadi, H., Baradran, R., Seghatoleslami, M. J., & Moosavi, S. G. (2021). Evaluation of drought tolerance in some sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes on stress tolerance indices. *Field Crops Research*, *18*(4), 413-433. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JCESC.2020.88165
3. Bardehji, S., Eshghizadeh, H. R., & Zahedi, M. (2020). Effect of drught stress and nitrogen fertilizer on yield and some physiological traits of six barley. *Journal of Plant Process and Function*, *9*(39), 1-14. (in Persian with English abstract). https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1399.9.39.11.0
4. Dutta, P. K., Bandyopadhyay, P., & Maity, D. (2000). Response of summer sesame (*Sesamum indicum*) to irrigation. *Indian Journal of Agronomy*, *54*, 613-616. https://doi.org/10.56739/jor.v33i1.139039
5. Eskandari, H., Zehtab Salmasi, S., & Ghasemi-Golezani, K. (2010). Evaluation of water use efficiency and grain yield of sesame cultivars as a second crop under different irrigation regimes. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *20*(1), 39-51. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.1001.1.24764310.1389.20.1.4.5
6. Farahbakhsh, S., & Farahbakhsh, H. (2015). Effect of drought stress on yield and components of sesame cultivars under Kerman conditions (*Sesamum indicum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *12*(36), 776-783. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/GSC.V12l4.24390
7. Gholinezhad, E., Darvishzadeh, R., & Abhari, A. (2022). Estimates of variance components and heritability of seed yield and yield components in commercial sesame cultivars at different levels of irrigation and mycorrhizal fingi. *Journal of Crop Breeding*, *14*(44). (in Persian with English abstract). https://dorl.net/dor/20.1001.1.2286128.1401.14.44.90
8. Gholinezhad, E., Darvishzadeh, R., Siavash Moghaddam, S., & Popović-Djordjević, J. (2020). Effect of mycorrizal inoculation in reducing water stress in sesame (*Sesamum indicum* L.): the assessment of agrobiochemical traits and enzymatic antioxidant activity. *Agricultural Water Management*, *238*, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106234
9. Gholinezhad, E. (2017). Effect of two species mycorrhizal fungi on quantitative and qualitative yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) landraces in different levels of drought stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *15*(45), 150-167. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/GSC.V15l1.49403
10. Heidari, M., Payedar, A., Baradran Firozabad, M., & Abedinin Esfalati, M. (2020). The effect of drought stress and application of humic on quantitative yield, photosynthetic pigments and minral nutrients content in sunflower seeds. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *50*(4), 51-62. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/IJFCS.2018.253008.654448
11. Jahan, M., Nassiri Mahallati, M., & Amiri, M. B. (2019). The effect of humic acid and water super absorbent polymer application on sesame in an ecological cropping system: A new employment of structural equation modeling in agriculture. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, *6*(1), 1-15. https://doi.org/10.1186/s40538-018-0131-2
12. Jahan, M., Ghaleonee, S., Khamooshi, A., & Amiri, M. B. (2015). Evaluation of some agroecological characteristics of basil (*Ocimum basilicum* L.) as affected by simultaneous application of water-saving superabsorbent hydrogel in soil and foliar application of humic acid under different irrigation intervals in low lnp. *Journal of Horticultural Science*, *29*(2), 240-254. (in Persian with English abstract). https://dorl.net/dor/20.10.22067/JHORTS4.V0l0.32381
13. Jamshidi, E., Ghalavand, A., Salehi, A., Javad Zare, M., & Jamshidi, A. R. (2009). Effect of arbuscularmycorrhizal on yield, yield components and plant characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *2*(11), (in Persian with English abstract). https://dorl.net/dor/20.1001.1.15625540.1388.11.2.4.6
14. Jerbi, M., Labidi, S., Laruelle, F., Tisserant, B., Ben Jeddi, F., & Lounès-Hadj Sahraoui, J. (2022). Mycorrhizal

biofertilization improves grain yield and quality of hulless barley (*Hordeum vulgare* SSP. *Nudum* L.) under water stress conditions. *Journal of Cereal Science*, *104*, 1-26. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2022.103436

15. Kalantari, E., Armin, M., & Marvi, H. (2021). Effect of irrigation cut-off in different stages on yield and yield components of sesame cultivars. *Crop Science Research in Arid Rejions*, 3(5), 151-162. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/CSRAR.2021.26665.1073
16. Koocheki, A., Bakhshaie, S., Khorramdel, S., Mokhtari, V., & Taherabadi, S. (2015). Effect of mycorrhiza symbiosis on yield, yield components and water use efficiency of sesam (*Sesamum indicum* L.) affected by different irrigation regimes in Mashhad. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *13*(3), 448-460. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/CGSC.V13l3.51150
17. Mahmoodi Zouik, R., Nasri, M., & Ovisi, M. (2016). Effects of humic acid sprying on yield and yield components of wheat in drought stress condition. *Journal of Crop Ecophysiology*, *8*(1), 10-26. (in Persian with English abstract).
18. Mehrabi Zadeh, Z., & Ehsan Zade, P. (2012). Astudy on physiological attributes and grain yield of sesame cultivars under different soil moisture regimes. *Journal of Crops Improvement*, *13*(2), 75-88. (in Persian with English abstract). https://doi.org/1001.1.83372008.1390.13.2.7.3
19. Nadarajah, K., & Abdul Rahman, N. S. N. (2023). The microbial connection to sustainable agriculture. *Plants*, *12*, 1-25. https://doi.org/10.3390/plants12122307
20. Nasir, M. W., & Toth, Z. (2020). Response of different potato genotypes to drought stress. *Agriculture*, *11*, 763-776. https://doi.org/10.3390/agriculture11080763
21. Nezami, A., Fazeli Kakhaki, S. F., Zarghani, H., Shabahang, J., & Gandomzadeh, M. R. (2014). Preiminary evaluation of yield and yield components of some Khorasanian sesame ecotype (*Sesamum indicum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *12*(2), 189-195. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/GSC.V212l2.39144
22. Nourihoseini, S., Khorasani, R., Astaraei, A., Rezvani Moghadam, P., & Zabihi, H. (2017). Effect of different fertilizer resources and humic acid on some morphological criteria, yield and antioxidant activity of black zira seed (*Bunium persicum* Boiss). *Applied Field Crops Research*, *29*(4), 88-105. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/AJ.2017.110251.1150
23. Lasheen, F. F., Hewidy, M., Abdelhamid, A. N., Thabet, R. S., Abass, M. M. M., Fahmy, A. A., Saudy, H. S., & Hassan, K. M. (2023). Exogenous application of humic acid mitigates salinity stress on pittosporum (*Pittosporum tobira*) plant by adjusting the osmolytes and nutrient homeostasis. *Gesunde Pflanzen*, *2*, 1-9. https://doi.org/10.1007/s10343-023-0039-9
24. Rezaei-Chiyaneh, E., Khorramdel, S., Movludi, A., & Rahimi, A., (2017). Effect of nano chelated zinc and mycorrhizal fungi inoculation on some agronomic and physiological characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Field Research*, *15*(54), 168-184. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/GSC.V15L1.49876
25. Sanchez, F. J., Manzanares, M., De Andres, E. F., Tenorio, J. L., & Ayerbe, L. (1998). Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. *Field Crop Research*, 59, 225-235. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00125-7
26. Seyed Sharifi, R., & Seyed Sharifi, R. (2019). Effects of bio0 fertilizers application on yield, oil content and antioxidant enzymes activity of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in different irrigation withholding levels. *Iranian Journal of Field Research*, *8*(29), 97-107. (in Persian with English abstract). https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1398.8.29.9.1
27. Shaabani, S., & Movahhedi Dehnavi, M. (2017). Effect of different levels of nitrogen, bio-fertilizers and nano-nitrogen on yield and nitrogen use efficiency of soybean in Darab (Fars). *Iranian Journal of Field Crop Research*, *15*(47), 709-720. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.11067/GSC.V15l3.53300
28. Yemata, G., & Bekele, T. (2024). Evaluation of sesame (*Sesamum indicum* L.) varieties for drought tolerance using agromorphological traits and drought tolerance indices. *Peer Journal*, *12*, 1-24. https://doi.org/10.7717/peerj.16840.eCollection2024
29. Zarehmanesh, H., Eisvand, H. R., Akbari, N., Ismaili, A., & Feizian, M. (2021). An investigation of effects of humic acid on changes in nutrients concentration of leaf, root and stem of *Satureja khuzestanica* under salinity stress. *Journal of Plant Process and Function*, *10*(40), 1-16. (in Persian with English abstract). https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1400.10.41.15.5